

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ

В.Н. Некрасов, А.О. Черданцев, П.О. Черданцев

*Описан подход моделирования обработанной поверхности при точении с учетом технологических факторов процесса позволяющий спрогнозировать систематические и случайные геометрические параметры микропрофиля.*

*Ключевые слова: токарная обработка, стохастическое моделирование, шероховатость, субмикронеровности, качество поверхности.*

В условиях современного развития техники, комплексная механизация и автоматизация производственных процессов и совершенствования методов подготовки и управления производством становятся одними из главных задач в машиностроении. Это связано в первую очередь с тем, что повышаются требования к геометрическим параметрам качества изготовления поверхностей деталей: точности получаемых размеров, отклонений формы, взаимного расположения поверхностей, их волнистости и шероховатости. Именно эти параметры определяют контактные деформации и жесткость стыков, характеризуют трение и износ поверхностей, герметичность соединений, прочность сцепления с покрытием и т.п. [1]. Широким классом деталей, используемым в машиностроении, являются детали типа тел вращения (валов, дисков, осей, пальцев, цапф, фланцев, колец, втулок, гаек, муфт и др.). Токарная обработка является наиболее распространенным методом обработки резанием, который применяется при изготовлении таких деталей. Из выше сказанного следует, что для обеспечения эксплуатационных свойств деталей машин необходимо обеспечить не только заданные требования качества поверхности, но и их стабильность, которая определяется случайными характеристиками параметров геометрии поверхности детали, задаваемыми законом их распределения.

Таким образом, целью работы является прогнозирование случайных параметров шероховатости обработанной поверхности при точении. Для достижения цели необходимо решить ряд задач:

1) Выявить основные факторы, влияющие на формирование микрорельефа обработанной поверхности при точении; 2) Создать методику учета случайной составляющей профиля поверхности и выявить факто-

ры, влияющие на эту составляющую; 3) Разработать модель процесса формирования микрогеометрии обработанной поверхности при точении.

Важным аспектом в исследовании шероховатости поверхности является теоретическое установление взаимосвязи ее параметров с условиями процесса обработки. Чистовая обработка деталей на производстве, как правило, осуществляется механическими методами. В этом отношении, большой интерес представляют работы Суслова А.Г. [3]. В ходе анализа исследований по формированию высоты профиля шероховатости поверхностей при разных методах обработки можно сделать вывод, что в основном на формирование шероховатости при точении влияние оказывают следующие факторы:

1) геометрия инструмента и кинематические особенности его движения относительно заготовки;

2) вибрации инструмента по отношению к обрабатываемой поверхности;

3) пластические и упругие деформации в зоне контакта обрабатываемого материала заготовки с рабочим инструментом;

4) шероховатость на рабочих поверхностях инструмента;

5) вырыв частиц обрабатываемого материала.

Степень влияния каждого фактора в зависимости от условий обработки на формирование шероховатости поверхности будет разной. Четыре первых фактора образуют систематическую составляющую профиля шероховатости, которая может быть описана математически. Последний фактор определяет дисперсию параметров шероховатости и приводит к образованию случайной составляющей профиля.

Исходная схема для расчета систематической составляющей высоты профиля ше-

роховатости поверхности при механической обработке приведена на рисунке 1



Рисунок 1 – Исходная схема для расчета высоты профиля шероховатости поверхности при механической обработке

Средняя высота профиля шероховатости в общем случае при всех методах механической обработки определяется равенством 1:

$$R_z = h_1 + h_2 + h_3 + h_4, \quad (1)$$

где  $h_1, h_2, h_3, h_4$  – составляющие профиля шероховатости, соответственно обусловленные геометрией и кинематикой перемещения рабочей части инструмента, колебаниями инструмента относительно обрабатываемой поверхности, пластическими деформациями в зоне контакта инструмента и заготовки, шероховатостью рабочих поверхностей инструмента. На шероховатость поверхности оказывает влияние пять факторов  $h_1, h_2, h_3, h_4, h_5$ ,

но автор работы [3] не учитывает составляющую  $h_5$  в зависимости 1.

В предлагаемой модели для описания микропрофиля обработанной поверхности при токарной обработке используется два блока. Один из них описывает детерминированную или систематическую составляющую, получаемую вследствие кинематического взаимодействия инструмента и заготовки. Для определения этой составляющей есть известные, хорошо формализованные математические модели. Для моделирования систематической составляющей использован фрагмент модели, разработанный на кафедре ТАП АлтГТУ, преподавателем Леоновым С.Л. и магистром Дударевым М.В. [2]. Принцип формирования систематической составляющей шероховатости для указанной модели основан на копировании профиля инструмента в тело заготовки (рисунок 2), при этом образуются риски. Последовательное соединение рисков дает полный профиль обработанной поверхности (рисунок 2д). Профиль риски определяется параметрами инструмента и подачи:  $R$  – радиус при вершине резца;  $\varphi$  – главный угол в плане;  $\varphi_1$  – вспомогательный угол в плане;  $S$  – подача. Рассмотрено несколько вариантов (рисунок 2а...е) взаимодействия инструмента и заготовки.

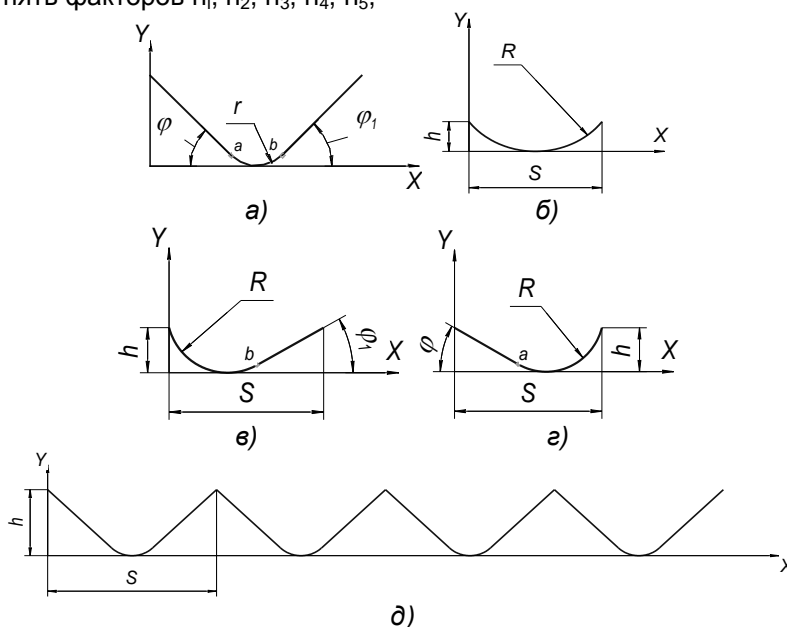


Рисунок 2 – Расчет профиля обработанной поверхности копированием профиля инструмента: а) риска с двумя линейными и радиусным участками; б) риска, содержащая только радиусный участок; в, г) риска, содержащая радиусный и линейный участки; д) полный профиль обработанной поверхности

Другой блок описывает формирование случайной составляющей профиля, образующейся в результате деформации, выры-

вов, сколов обрабатываемого материала и других случайных факторов возникающих в зоне резания. Случайная составляющая про-

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ

является, как правило, в виде субмикронеровностей случайным образом расположенных на систематическом профиле. Для определения случайной составляющей предлагается рассматривать субмикронеровности в виде маленьких равнобедренных треугольников, определяемых тремя параметрами: ширина основания  $b$ , высота треугольника  $h$  и шаг их относительного расположения  $p$  (рисунок 3). Эти параметры ( $b$ ,  $h$ ,  $p$ ) носят случайный характер.

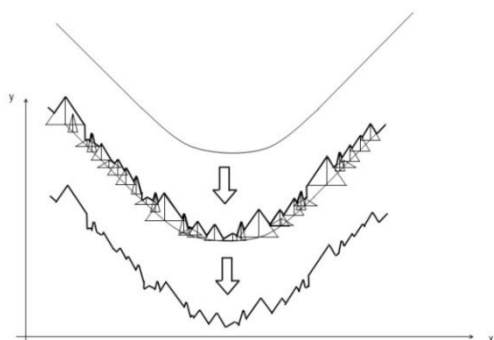


Рисунок 3 – Формирование случайной составляющей микропрофиля поверхности при моделировании

При моделировании на систематическую составляющую с шагом  $p$  будут накладываться треугольники со случайными параметрами. В результате моделирования должна получиться следующая картина: каждому треугольнику соответствует точка привязки на профиле  $(x_1; y_1, x_2; y_2, \dots, x_n; y_n)$ . Далее профиль будет формироваться по точкам с максимальным значением координаты  $Y$ . Для описания профиля треугольника привязанного

к детерминированному профилю определены зависимости и заданы диапазоны расчета:

$$Y_i = \frac{2h}{b_i} x_i + h; \quad (x_i - \frac{b_i}{2} \dots x_i)$$

$$Y_i = \frac{2h}{b_i} x_i - h; \quad (x_i \dots x_i + \frac{b_i}{2})$$

Для определения влияния параметров технологического процесса на случайную составляющую профиля обработанной поверхности был проведен эксперимент. В технологических качествах исследуемых факторов были выбраны скорость резания и подача. Эксперимент проводился на токарно-винторезном станке 1К62, с использованием проходного резца оснащенного сменной многогранной пластинкой из твердого сплава Т15К10. Геометрические параметры инструмента имели следующие значения: главный угол в плане  $\phi = 45^\circ$ , вспомогательный угол в плане  $\phi_1 = 45^\circ$ , радиус при вершине  $r = 1$  мм, передний угол  $\gamma = -6^\circ$ , задний угол  $\alpha = 6^\circ$ . В качестве материала заготовки использовался пруток круглого сечения диаметром 20 мм, длиной 15 мм из стали 40 в сыром состоянии с твердостью НВ 241.

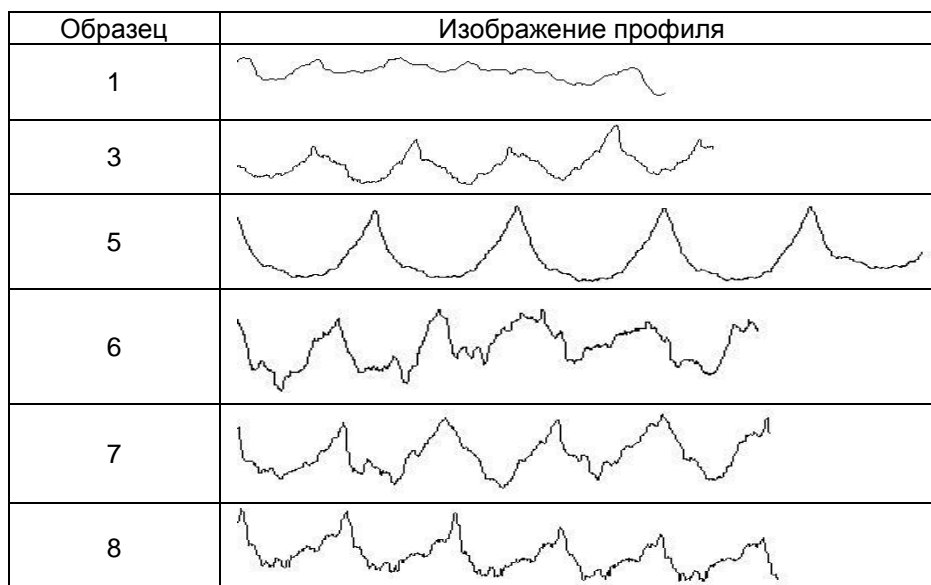
Для проверки влияния подачи на случайную составляющую были проточены 9 экспериментальных образцов с подачами, приведенными в таблице 1, и пронумерованы от 1 до 9. Скорость резания для первой части эксперимента выбрана на основе рекомендаций [4].

С помощью профилографа – профилометра Hommel Tester W55 измерялся профиль экспериментальных образцов. Результаты измерения некоторых из них приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Режимы резания

Номер образца	Скорость резания, об/мин (м/мин)	Подача, мм/об	Глубина резания, мм
1	630 (39.56)	0,195	0,5
2	630 (39.56)	0,39	0,5
3	630 (39.56)	0,61	0,5
4	630 (39.56)	0,78	0,5
5	630 (39.56)	1,00	0,5
6	315 (19.78)	0,61	0,5
7	500 (31.4)	0,61	0,5
8	800 (50.24)	0,61	0,5
9	1000 (62.8)	0,61	0,5

Таблица 2 – Профиль поверхности полученный точением при различных подачах и скорости резания



Для выделения случайной составляющей использовался метод визуального анализа. На каждом измеренном профиле выделялись

субмикронеровности и определялись параметры и законы их распределения. Результаты анализа приведены в таблицах 3, 4, 5.

Таблица 3 – Обработка результатов (высота треугольников, h)

№ обр.	Скорость (об/мин)	Подача (мм/об)	Значения шероховатости (ср.)	Диапазон значений		Критерий $\chi^2$		Теоретич. закон распредел.	Значение $\sigma$
				$h_{\min}$	$h_{\max}$	Табл.	Расч.		
1	630	0,195	4,70	3,60	33,12	9,48	5,57	Распредел. Рэля	6,92
3	630	0,61	6,15	3,99	30,59	9,48	2,89	Распредел. Рэля	6,28
4	630	0,78	8,11	4,24	18,02	9,48	1,16	Нормальное распредел.	3,32
6	315	0,61	9,07	4,47	56,62	9,48	8,86	Нормальное распредел.	12,54
7	500	0,61	8,27	7,14	48,79	9,48	2,10	Логариф.- нормальное распредел.	8,80

Таблица 4 – Обработка результатов (ширина основания треугольников, b)

№ обр.	Скорость (об/мин)	Подача (мм/об)	Значения шероховатости (ср.)	Диапазон значений X		Критерий $\chi^2$		Теоретич. закон распредел.	Значение $\sigma$
				$b_{\min}$	$b_{\max}$	Табл.	Расч.		
1	630	0,195	4,70	1,89	7,56	7,81	8,72	Нормальное распредел.	1,33
3	630	0,61	6,15	60,00	200,00	11,07	5,01	Нормальное распредел.	32,31
4	630	0,78	8,11	47,61	206,31	11,07	7,62	Логариф.- нормальное распредел.	28,24
6	315	0,61	9,07	61,20	224,40	11,07	8,47	Нормальное распредел.	40,95
7	500	0,61	8,27	29,80	268,20	11,07	5,38	Нормальное распредел.	40,80

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ  
ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ**

Таблица 5 – Обработка результатов (шаг размещения микронеровностей,  $\rho$ )

№ обр.	Скорость (об/мин)	Подача (мм/об)	Значения шероховатости (ср.)	Диапазон значений $X$		Критерий $\chi^2$		Теоретич. закон распредел.	Значение $\sigma$
				$\rho_{\min}$	$\rho_{\max}$	Табл.	Расч.		
1	630	0,195	4,70	1,00	11,00	9,48	10,59	Логарифм.- нормальное распредел.	2,57
3	630	0,61	6,15	1,00	9,00	9,48	6,71	Логарифм.- нормальное распредел.	1,62
4	630	0,78	8,11	1,00	9,00	12,59	13,65	Логарифм.- нормальное распредел.	2,07
6	315	0,61	9,07	1,00	8,00	11,07	13,91	Логарифм.- нормальное распредел.	1,74
7	500	0,61	8.27	1.00	9.00	11.07	10.66	Равномерное распредел.	2.13

Обработка данных показала, что на характер случайной составляющей наибольшее влияние оказывает скорость резания. При изменении подачи параметры случайной составляющей, практически не изменяются, что соответствует общей теории резания.

Результаты анализа экспериментальных данных показывают, что все три параметра треугольных элементов (высота, ширина, шаг) имеют преимущественно нормальное или логарифмически-нормальное распределение.

Применение предлагаемого подхода позволяет прогнозировать случайную составляющую используя численные методы и более точно определять шероховатость обработанной поверхности. Подход возможно использовать не только для точения, но и для других методов обработки, в том числе и не лезвийных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дударев, А. С. Определение микропрофиля поверхности, образованной механической обработкой лезвийным и алмазно-абразивным инструментом / А. С. Дударев. – Пермь : ПНИПУ.
2. Дударев М. В., Леонов С. Л., Некрасов В. Н., Савенков В. В. Автоматизация расчета шероховатости поверхности, обработанной точением. Горизонты образования научно-образовательный жур-

нал АлтГТУ, выпуск 10 / Материалы 5-ой Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь - 2008» [http://edu.secna.ru/media/f/mtoa\\_otm.pdf](http://edu.secna.ru/media/f/mtoa_otm.pdf)

3. Суслов, А. Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей / А. Г. Суслов. – М. : Машиностроение, 1987. – 208 с.

4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1 / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – 655 с., ил.

**Некрасов Вячеслав Николаевич**, к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: [sla44@mail.ru](mailto:sla44@mail.ru).

**Черданцев Алексей Олегович**, инженер кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: [hipertigr@mail.ru](mailto:hipertigr@mail.ru).

**Черданцев Павел Олегович**, к.т.н., старший преподаватель кафедры «Теоретическая механика и механика машин» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: [p004092@yandex.ru](mailto:p004092@yandex.ru).